

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA EM ÁREA ÚMIDA: ESTUDO DE CASO NA EMBRAPA CERRADOS, PLANALTINA, DISTRITO FEDERAL

Samuel Erick Barbosa Vitorino¹; João Vitor Dias Cerqueira²; Pedro Henrique Alves de Oliveira³; Marcos Aurélio Carolino de Sá⁴; Éder de Souza Martins⁵; Dionísio Bastos de Quental⁶; Andreia de Almeida⁷; Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento⁸

Abstract: Wetlands help regulate the hydrological cycle due to their role in storing and redistributing water, especially for aquifer recharge. Given the importance of these areas and the limitations of traditional methods of hydrogeological monitoring in the field, the objective of this study was to characterize the geoelectric behavior in a wetland, using as a case study a murundus field associated with pasture in Planaltina, Distrito Federal. For this purpose, the direct current electrical geophysical method was applied, which has electrical resistivity (ρ , $\Omega \cdot m$) as the parameter of interest. Considering that ρ depends mainly and inversely on soil moisture, this method has proven to be suitable for environmental studies on the behavior of water in the soil. For the geophysical survey, the electrical traversing technique with Wenner array was applied by means of the linear arrangement of electrodes in the soil, regularly spaced every 2 m along a 450 m line. After data inversion, geoelectrical models were obtained for the sections under murundus and pasture, with a theoretical investigation depth of approximately 6 m. ρ values ranged from 200 $\Omega \cdot m$ to 7500 $\Omega \cdot m$, with a predominance of more resistive zones under murundus fields, possibly associated with the morphology of the area, and conductive anomalies under pasture, possibly due to the management of the area. The study resulted in the indirect characterization of the physical and water conditions of the soil. It is recommended that monitoring be continued to evaluate the effect of seasonality and the incorporation of topographic data.

Resumo: Áreas úmidas auxiliam na regulação do ciclo hidrológico devido ao papel de armazenamento e redistribuição de água, especialmente para a recarga de aquíferos. Diante da importância dessas áreas e da limitação dos métodos tradicionais de monitoramento hidrogeológico em campo, o objetivo do presente estudo foi caracterizar o comportamento geoelétrico em área úmida, tendo como estudo de caso um campo de murundus associado à pastagem, em Planaltina, Distrito Federal. Para isso, aplicou-se o método geofísico elétrico de corrente contínua, que tem como parâmetro de interesse a resistividade elétrica (ρ , $\Omega \cdot m$). Considerando que ρ depende, principalmente e de forma inversa, da umidade do solo, esse método tem se mostrado adequado em estudos ambientais a respeito do comportamento da água no solo. Para o levantamento geofísico, aplicou-se a técnica de caminhamento elétrico com arranjo de Wenner por meio da disposição linear de eletrodos no solo, espaçados regularmente a cada 2 m ao longo de uma linha de 450 m. Após a inversão dos

¹ Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina (FUP), samuelerick650@gmail.com

² Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina (FUP), jvd.cerqueira@gmail.com

³ Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina (FUP), opedrohe3@gmail.com

⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Embrapa Cerrados, marcos.sa@embrapa.br

⁵ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Embrapa Cerrados, eder.martins@embrapa.br

⁶ Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina (FUP), dbquental@gmail.com

⁷ Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina (FUP), andreia.almeida@unb.br

⁸ Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina (FUP), carlostadeu@unb.br

dados, foram obtidos modelos geoeletricos para os trechos sob murundus e pastagem, com profundidade teórica de investigação de aproximadamente 6 m. Valores de ρ variaram entre 200 $\Omega \cdot m$ e 7500 $\Omega \cdot m$, com predomínio de zonas mais resistivas sob campo de murundu, possivelmente associada à morfologia da área, e anomalias condutivas sob pastagem, possivelmente em decorrência do manejo da área. O estudo resultou na caracterização indireta das condições físicas e hídricas do solo. Recomenda-se a continuidade do monitoramento para avaliar o efeito da sazonalidade e da incorporação de dados topográficos nos modelos geoeletricos.

Palavras-Chave – Hidrogeologia, Umidade do solo, Método elétrico de corrente contínua.

1. INTRODUÇÃO

O método elétrico de corrente contínua é um dos métodos que integram a geofísica aplicada, sendo fundamentado na investigação da resistividade elétrica (ρ). Expressa em ohm.m ($\Omega \cdot m$), ρ corresponde à resistência R (em Ω) à passagem da corrente elétrica ao longo do comprimento L (em m) de um dado material (Telford et al., 1990). Por meio do método elétrico de corrente elétrica pode-se investigar de forma indireta as propriedades físicas em subsuperfície associadas ao comportamento elétrico do meio investigado.

A resistividade elétrica do solo relaciona-se de forma inversa ao teor de umidade, permitindo avaliar características subsuperficiais associadas ao armazenamento de água (Neto et al., 2022; Arruda et al., 2018). De modo geral, destacam-se os estudos que aplicam o método elétrico de corrente contínua na análise da movimentação de água no solo, no mapeamento de áreas com potencial de contaminação e na identificação de variações estruturais relacionadas ao manejo e as características de uso e cobertura do solo (Braga, 2016; Nascimento et al., 1997; Ryazantsev e Bakhmet, 2019).

Segundo Nascimento et al. (2004), o método elétrico de corrente contínua permite avaliar diferentes tipos de solo, pois as classes pedológicas podem apresentar respostas elétricas distintas, associadas a características como teor de umidade, densidade, composição mineralógica e presença de matéria orgânica. No que diz respeito ao uso e cobertura do solo, fatores como compactação, remoção de vegetação ou manejo agrícola também podem influenciar o comportamento elétrico do solo.

Bai et al. (2021) utilizaram o método elétrico de corrente contínua para o monitoramento do nível da água subterrânea em áreas com bombeamento na cidade chinesa de Changchun. Os autores observaram variações da resistividade em função das oscilações na profundidade do aquífero, com o deslocamento das zonas de menor resistividade para camadas mais profundas em função da intensificação do bombeamento.

Considerando que métodos tradicionais de monitoramento hidrogeológico demandam recursos elevados para a coleta e análise de dados, o método elétrico de corrente contínua se torna uma opção para a caracterização indireta do solo (Góis et al., 2023). Nesse contexto, o levantamento da resistividade elétrica mostra-se como uma ferramenta útil para o monitoramento não destrutivo das características físicas e hídricas do solo.

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar o comportamento geoeletrico em área úmida, tendo como estudo de caso um transecto no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), unidade EMBRAPA Cerrados, localizado em Planaltina, Distrito Federal. O transecto investigado ocorre predominantemente sob campo de murundu, fitofisionomia típica do Cerrado que se classifica como uma área úmida por apresentar acúmulo periódico de água e espécies vegetais adaptadas à inundação (Brasil, 2012).

Áreas úmidas, como os campos de murundus, fornecem serviços ecossistêmicos fundamentais para a regulação do ciclo hidrológico e da qualidade da água devido a capacidade de armazenamento e purificação da água e recarga de aquíferos (Brasil, 1996; Brasil, 2012). Nesse sentido, assumiu-se como pressuposto do trabalho que o acúmulo de umidade do solo sob o campo de murundu fornece anomalias condutivas detectáveis por meio do método elétrico de corrente contínua. Como resultado, demonstrou-se a aplicabilidade do método geofísico como ferramenta de monitoramento indireto de características hidrológicas em função das condições pedológicas e de uso e cobertura do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo ocorreu na área da unidade EMBRAPA Cerrados, localizada em Planaltina, próxima à BR-020 (km 18), nos dias 20/03/2024 e 22/03/2024 (Figura 1). A transecto selecionado para o desenvolvimento do estudo apresenta duas classes de uso e cobertura do solo: i) campo de murundus, fitofisionomia nativa de Cerrado com ocorrência de espécies vegetais herbáceas; e ii) pastagem (Figuras 1 e 2).

O termo murundu é adotado em diferentes regiões do Brasil para designar elevações circulares com até 1 metro de altura e de 5 a 10 metros de diâmetro, que costumam ocorrer em grande quantidade em áreas planas e inundáveis. A origem dos murundus ainda é controversa, com duas possíveis hipóteses associadas à sua formação. A primeira é a de que os murundus seriam relevos residuais que resultam da ação erosiva diferencial das águas de escoamento superficial. A segunda hipótese é a de que os murundus seriam construções resultantes da atividade de térmitas (Castro júnior et al. 2004; Marimon et al. 2012).

A avaliação temporal da área de estudo (1986, 1991 e 2024) indica a consolidação das características de uso e cobertura, com i) o cultivo de pastagem, incluindo parte do transecto de estudo, desde 1986; ii) as intervenções antrópicas entre 1986 e 1991 destacadas pela expansão do cultivo e por meio da abertura de trilhas/vias; e iii) a redução das trilhas/vias no cenário de 2024 (Figuras 1 e 2). Essas transformações refletem alterações no uso e manejo da terra ao longo de quase quatro décadas, com possíveis impactos nas condições físicas do solo e, consequentemente, na resposta geoeletrica da área.

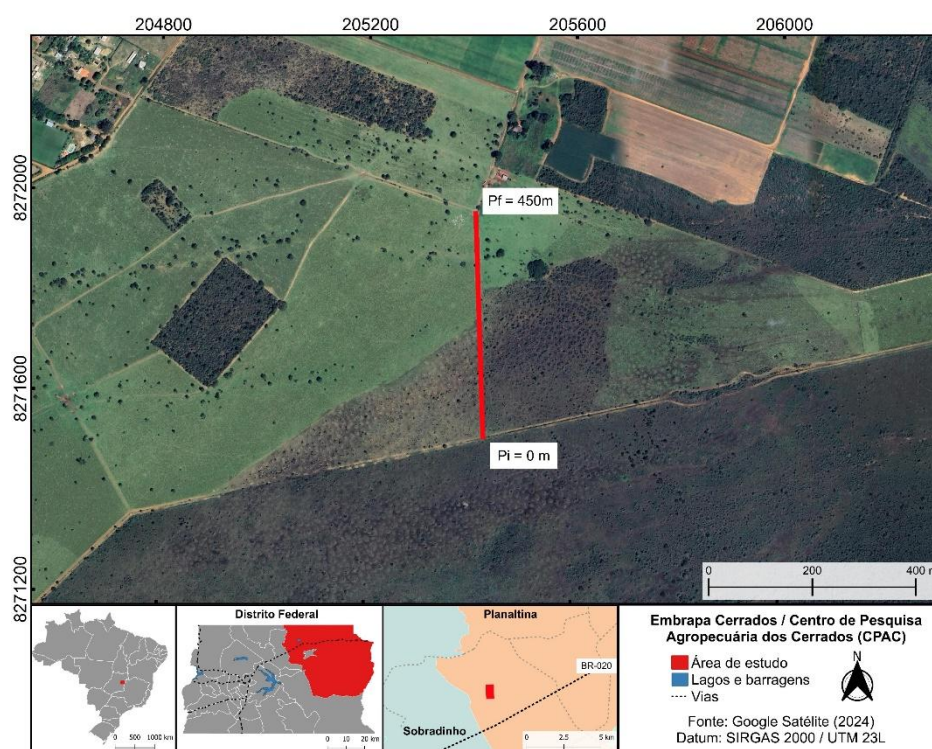


Figura 1. Mapa de localização, com indicação da linha de levantamento geofísico com 450 m de extensão, sentido Pi (ponto inicial) – Pf (ponto final) na área da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Com relação às características pedológicas, observam-se Gleissolo Háplico, predominante junto ao campo de murundus, e Latossolo Vermelho-Amarelo, principalmente sob a pastagem (Figura 2). Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS), Gleissolos apresentam horizontes influenciados pela gleização, com cores acinzentadas, azuladas e esverdeadas, em razão da saturação permanente ou temporária por água que condiciona um ambiente de umidade redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido (Campos et al., 2003; Embrapa, 2006; IBGE, 2015).

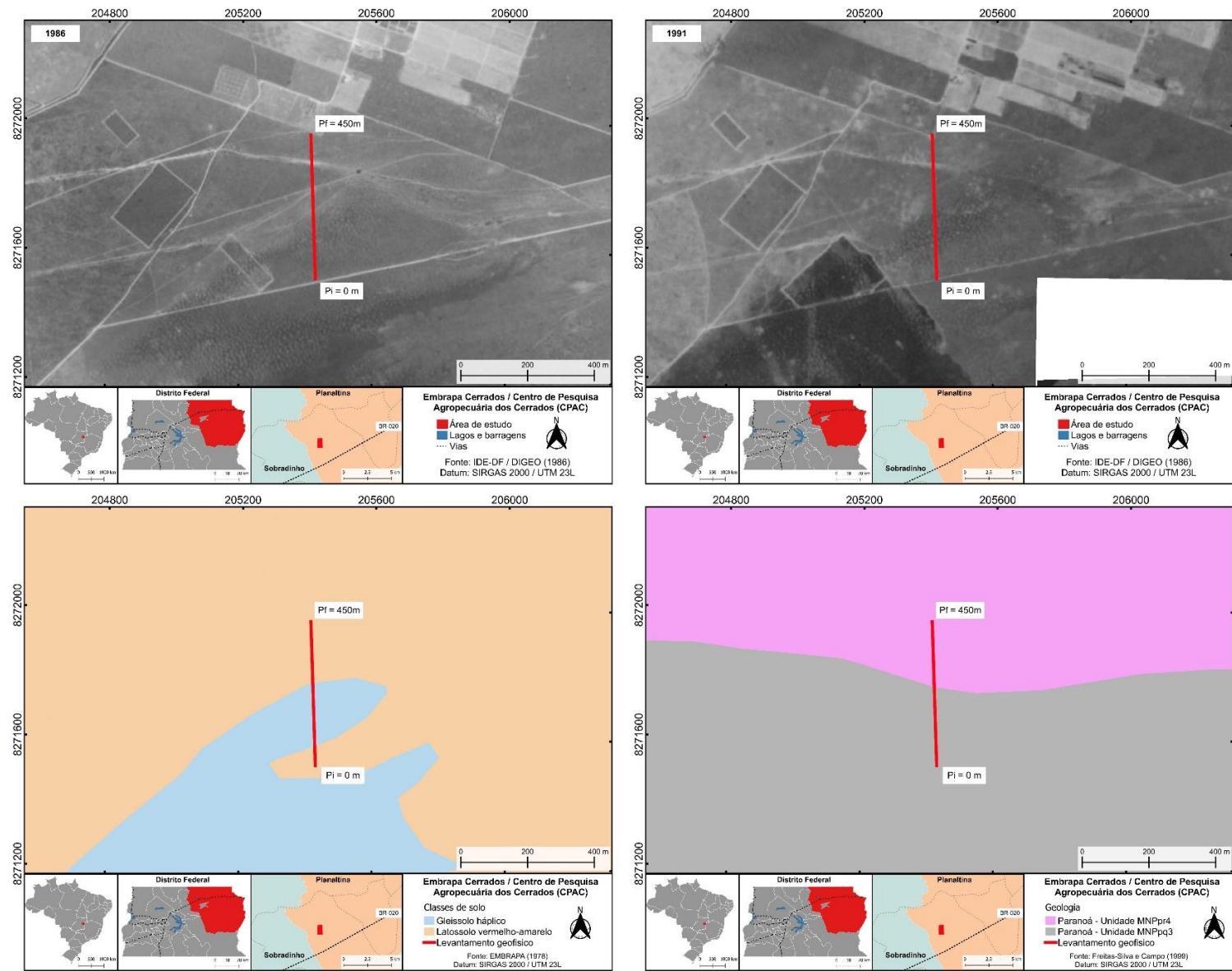


Figura 2. Caracterização fisiográfica da área de estudo. Fotografias aéreas de a) 1986 e b) 1991; c) unidades pedológicas 1:100.000 (EMBRAPA, 1978); d) unidades geológicas 1:100.000 (Freitas-Silva e Campos, 1999).

Os Latossolos são muito intemperizados, profundos e com elevada capacidade de drenagem. Caracterizam-se por grande homogeneidade de características ao longo do perfil, mineralogia da fração argila predominantemente caulinitica ou caulinitica-oxídica, com baixa predominância de minerais primários de fácil intemperização (IBGE, 2015).

A geologia é caracterizada pela ocorrência de formações das unidades Metarritmito Argilosa (MNPpr4) e Quartzito Médio (MNPpq3) do grupo Paranoá (Figura 2). A unidade MNPpr4 é caracterizada pela intercalação de camadas de metassiltitos, metargilitos e quartzitos finos em variados graus de intemperismo, com prevalência da fração silte-argila (Freitas-Silva e Campos, 1999). Por sua vez, a unidade MNPpq3 apresenta quartzitos finos a médios, com alternância de frações silto-arenosas (Freitas-Silva e Campos, 1999).

2.2 METODOLOGIA

Considerando as diferentes características pedológicas e de uso e cobertura do solo da área como um ponto-chave para a avaliação do método elétrico de corrente contínua, o estudo geofísico foi realizando em uma transecto com 450 m de extensão no sentido sul (Ponto inicial – Pi) – norte (Ponto final – Pf). Para a aquisição dos dados de resistividade elétrica da subsuperfície, aplicou-se a técnica de caminhamento elétrico, que fornece dados de resistividade elétrica em diferentes profundidades no formato de seção bidimensional vertical, com arranjo de Wenner. O arranjo de Wenner utiliza quatro eletrodos alinhados e posicionados com espaçamento equidistante, que possibilitam a indução de corrente entre os eletrodos das extremidades (AB) e a leitura da diferença entre os potenciais elétricos natural e induzido por meio dos eletrodos internos ao arranjo (MN) (Moreira et al., 2014).

Nessa configuração, ocorreu a disposição linear de eletrodos no solo, espaçados regularmente a cada 2 metros ao longo de uma linha de 450 metros, resultando em 1.520 pontos de medição e uma profundidade teórica de investigação em torno de 6,4 m. Para a aquisição de dados foi utilizado o equipamento resistivímetro Geopulse (Campus Geophysical Instruments). Após a obtenção dos dados procedeu-se com a inversão e a modelagem dos valores de ρ , por meio do software RES2DINV (Loke e Barker, 1995; Loke e Barker, 1996), para a obtenção das seções geoeletricas representativas da subsuperfície. Por fim, a seção geoeletrica resultante da modelagem dos dados de campo foi subdividida para a avaliação individualizada da porção sob campo de murundus (0m – 250m) e pastagem (250m – 450m).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos geoeletricos representativos dos trechos de campo de murundus (Figura 3) e pastagem (Figura 4) apresentaram valores de ρ que variavam de aproximadamente 200 $\Omega \cdot m$ a 7500 $\Omega \cdot m$. Ao longo do transecto investigado (450 m) houve predomínio de regiões menos resistivas nas camadas superficiais do solo (inferiores à 2 m de profundidade) e porções mais resistivas nas camadas profundas. A área entre 0 e 250 metros corresponde à região com presença do campo de murundus, enquanto na porção a partir de 250 metros compreende a área de pastagem. De modo geral, o modelo geoeletrico associado ao campo de murundus apresentou regiões predominantemente mais resistivas (ρ acima de 2000 $\Omega \cdot m$) em comparação à pastagem.

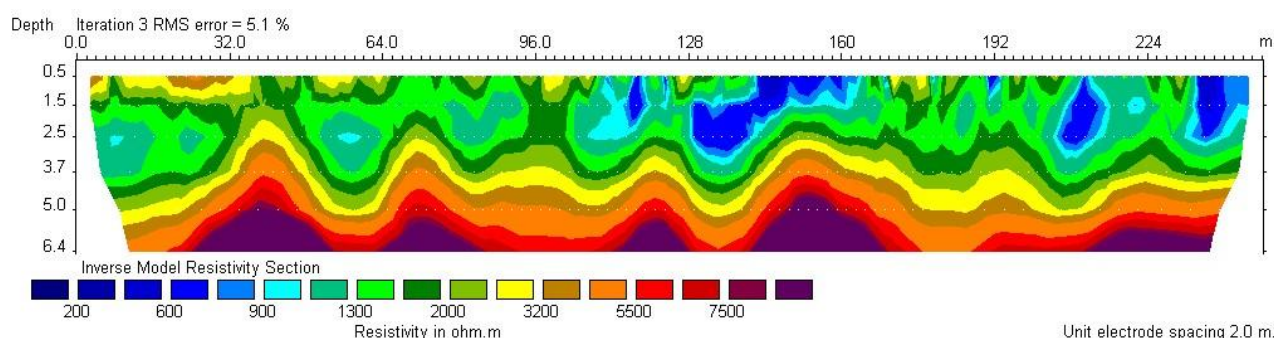


Figura 3. Modelo geoeletrico do campo de murundu.

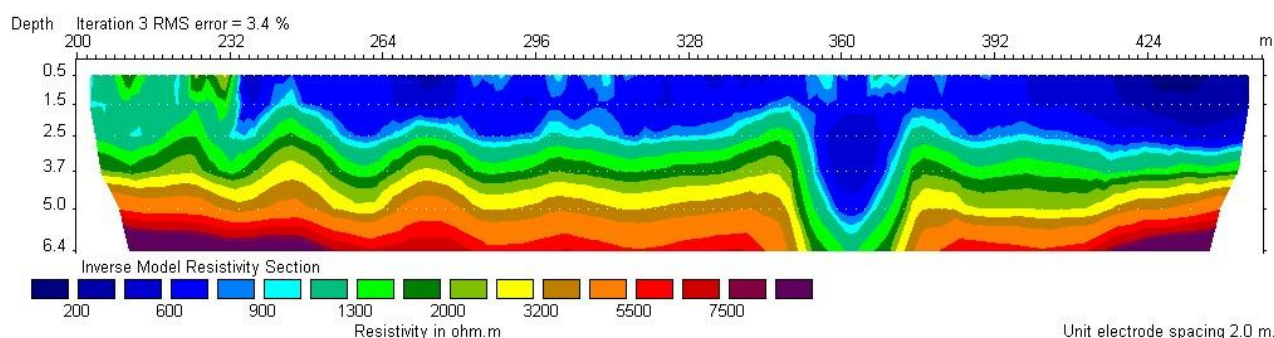


Figura 4. Modelo geoeletrico da pastagem.

Os valores mais elevados de ρ foram observados a partir de 5 m de profundidade. No caso do campo de murundus, a porção resistiva anômala com ρ acima de 5500 $\Omega \cdot m$ pode indicar a presença da formação rochosa ou material consolidado em subsuperfície associado à unidade geológica Quartzito Médio (MNPpq3). Essa condição tem relação com a característica da morfologia dos murundus, segundo Rezende et al., (2004), sendo um tipo de microrelevo com algumas pequenas

formações, frequentemente circulares, e estrutura do solo e da vegetação condicionada ao acúmulo de água. Acúmulo este associado à aquíferos suspensos, resultadas da camada impermeável atrelada à formação rochosa e/ou saprólito próximos à superfície do solo.

Além das variações nos valores de resistividade entre as áreas de murundus e pastagem, também foram observadas ondulações suaves e repetidas ao longo do perfil apresentado na Figura 3, possivelmente associados às ondulações que seguem o formato comum de murundus. Essas variações mostram que o método elétrico de corrente contínua pode auxiliar na avaliação dos horizontes estruturais que condicionam a ocorrência de campos de murundus.

Estudos como do Yoshihara e Hattanji, (2022) demonstram que o levantamento por meio do método elétrico de corrente contínua possibilita avaliar estruturas rasas do subsolo, incluindo a interface entre solo superficial e saprolito. Variações na granulometria do solo e no teor de umidade influenciam diretamente na retenção de água nos poros, o que contribui para os contrastes de resistividade observados entre as diferentes camadas do subsolo.

Zonas anômalas de baixa resistividade (valores de ρ inferiores a 200 $\Omega.m$), por sua vez, ocorreram ao longo de todo o transecto, com predomínio no trecho sob a pastagem (Figura 4). Foi possível observar uma anomalia condutiva a cerca de 360 m, entre 0.5 m e 5 m de profundidade. Essa condição pode estar associada às variações pedológica existentes na área e/ou uma possível compactação do solo causada por uma antiga estrada que interceptava a área de estudo (Figura 2), podendo comprometer a drenagem e favorecendo o acúmulo de umidade do solo. O trabalho de Oliveira et al. (2023) destaca que a anomalia pode ser resultado de diferentes características no subsolo e que a baixa resistividade pode explicar o acúmulo de umidade no solo.

O acúmulo de água subterrânea tende a reduzir os valores de resistividade elétrica, permitindo que o método elétrico de corrente contínua descreva as variações do fluxo da água subterrânea e sua resposta geofísica (Bai et al., 2021). Neste estudo, ao contrário do que esperava, camadas menos resistivas em comparação com os valores gerais de ρ não foram associados ao aquífero suspenso que geralmente ocorre sob campos de murundus. No entanto, pode-se verificar contraste entre as duas porções investigadas (murundus e pastagem). Nesse sentido, o método testado possibilitou caracterizar o comportamento geoelétrico em subsuperfície.

4. CONCLUSÃO

Esse presente trabalho permitiu analisar a aplicação do método elétrico de corrente contínua observando variações de resistividade elétrica sob campo de murundus e pastagem. Os valores de

resistividade variaram entre $200 \Omega \cdot m$ e $7500 \Omega \cdot m$, com os maiores valores sendo registrados a partir de 5 m de profundidade principalmente nas áreas sob os murundus, já os menores valores nas camadas superficiais da área de pastagem, possibilitando a visualização de uma anomalia na parcela de 360 m, onde há indícios de compactação relacionado à existência de uma antiga estrada. As variações entre as áreas de murundus e pastagem e seus efeitos no subsolo foram representadas nos modelos geolétricos. As ondulações registradas no perfil de murundus acompanham o padrão morfológico dos murundus em relação a sua formação. Com base nas observações, conclui-se que a resistividade elétrica se mostrou uma ferramenta eficiente para caracterização indireta das condições físicas e hídricas do solo, podendo influenciar estudos voltados para o monitoramento ambiental, uso sustentável da terra e avaliação de alterações no solo. Por fim recomenda-se a repetição do estudo com procedimentos para levantamento topográficos e com repetição temporal para avaliação dos possíveis efeitos da sazonalidade.

AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA, por disponibilizar a área de estudo, e ao Laboratório de Geociências, por disponibilizar o equipamento para o levantamento geofísico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRUDA, T. I. M., NOVAES, C. D., DUARTE, R. S. S., & FACHIN, S. J. S. (2018). Caracterização de área de nascente aterrada no perímetro urbano de Cuiabá – MT: o uso da resistividade 2D. *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Geofísica*, Salinópolis, 18–20 de setembro de 2018. Sociedade Brasileira de Geofísica.
- BAI, L., HUO, Z., ZENG, Z., LIU, H., TAN, J., & WANG, T. (2021). Groundwater flow monitoring using time-lapse electrical resistivity and Self Potential data. *Journal of Applied Geophysics*, 193, 104411.
- BRAGA, A. C. O. *Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 159 p. 2016.
- BRASIL. *Decreto nº 1.905, de 16 de maio de 1996*. DOU, Brasília, 1996.
- BRASIL. *Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012*. DOU, Brasília, 2012.
- CAMPOS, C. E. B. et al. Indicadores de campo para solos hidromórficos na região de Viçosa (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 1057-1066, 2003.
- Castro Júnior, P. R., Girard, P., Cunha, C. N., 2004, *Dinâmica hídrica em campos de murundus*: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.
- FREITAS-SILVA, F. H.; CAMPOS, J. E. G. Geologia do Distrito Federal. In: INVENTÁRIO hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília: SEMATEC: IEMA: MMA-SRA, 1999. CD-ROM
- GÓIS, M.S.; COSTA, K.R.C.B; CAVALCANTE, A.L.B. Prediction of hydraulic and petrophysical parameters from indirect measurements of electrical resistivity to determine soil-water retention curve – studies in granular soils. *Soils and Rocks*, 46(3), 2023

- IBGE. *Manuais Técnicos em Geociências n. 6. Manual técnico de pedologia*. 3ª edição, 306 p. Brasil, Rio de Janeiro, 2015.
- LOKE, M. H.; BARKER, R. D. 1995. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60: 1682-1690.
- LOKE, M. H.; BARKER, R. D. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-newton method. *Geophysical Prospecting*, 44: 131-152.
- MARIMON, B. S., MARIMON-JUNIOR, B. H., MEWS, H. A., JANCOSKI, H. S., FRAN CZAK, D. D., LIMA H. S., LENZA, E., ROSSETE, A. N., MORESCO, M. C., 2012, Florística dos campos de murundus do Pantanal do Araguaia, Mato Grosso, Brasil: *Acta Botanica Brasilica*, 26(1): 181-196.
- MOREIRA, C. A., MARIANO, E., CAMPOS, N. P. da S., PEREIRA, A. M., REIS, S. S., MALAGUTTI FILHO, W., & DEL ROVERI, C. (2014). Análise comparativa entre arranjos de aquisição de dados geoeletricos 2D em área de ocorrência de manganês alojada em sequência metassedimentar. *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Geofísica*, Porto Alegre, 14–16 de outubro de 2014. Sociedade Brasileira de Geofísica.
- NASCIMENTO, C. T. C.; KOIDE, S.; PIRES, A. C. B. *Análise geofísica, por meio de resistividade elétrica, do espalhamento de efluente de fossa séptica no subsolo*. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, 1997.
- NASCIMENTO, C.T.C; PIRES, A.C.B; DE MORAES, R.A.V. reconhecimento de solos por meio de resistividade elétrica e radiação gama. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, p. 383, 2004.
- OLIVEIRA, P. H. A. de, CERQUEIRA, J. V. D., ARÊDA, I. T., VITORINO, S. E. B., NASCIMENTO, C. T. C. do, & ALMEIDA, A. de. (2024). Método elétrico de corrente contínua aplicado à identificação de vala de infiltração – estudo de caso na Faculdade UnB Planaltina, Distrito Federal. *Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*.
- RESENDE, I. L. D. M., ARAÚJO, G. M. D., OLIVEIRA, A. P. D. A., OLIVEIRA, A. P. D., & ÁVILA JÚNIOR, R. S. D. (2004). A comunidade vegetal e as características abióticas de um campo de murundu em Uberlândia, MG. *Acta botanica brasilica*, 18, 9-17.
- RYAZANTSEV, P. A.; BAKHMET, O. N. Application of Geoelectric Methods for Mapping Soil Heterogeneity. *Eurasian Soil Science*, v. 53, p. 558-568, 2020.
- SIQUEIRA NETO, A. C., SANTOS, F. R. P., BARROS, A. C. S. P. C., & ARRAES, L. D. (2023). Método da Eletroresistividade aplicado à variação temporal do nível freático do aquífero Alter do Chão, em Santarém, Pará. *Revista de Geociências do Nordeste*, 9(1), 88–104.
- TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. *Applied geophysics*. Cambridge University Press, 1990.
- YOSHIHARA, N., & HATTANJI, T. (2022). Estimation of shallow subsurface structures on granitic hillslopes based on electrical resistivity distribution. *Journal of Applied Geophysics*, 203, 104704.